

С. Ю. ДАНШИНА, С. М. АНДРЕЄВ

*Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна*

## ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ ПРОЄКТУВАННЯ ДОРІГ

**Предметом** дослідження є процес інженерно-геодезичних вишукувань для розроблення проєктів доріг. **Метою** статті є підвищення ефективності процесу інженерно-геодезичних вишукувань при проєктуванні доріг шляхом імплементації до нього дистанційних даних з різних джерел, їх систематизації та алгоритмізації використання. **Завдання:** проаналізувати підготовчий і польовий етапи процесу для визначення можливих шляхів підвищення його ефективності. Акцентуючи увагу на інформаційних потоках, розробити інформаційну модель процесу інженерно-геодезичних вишукувань і відповідне науково-методичне забезпечення проєктування доріг з метою впровадження до нього прогресивних технологій збору даних про місцевість, що зменшують час вишукувань та підвищують точність отриманих результатів. Для цього використовуються **методи:** системного та структурного аналізу, теорії множин, DFD моделювання. Отримано наукові **результати.** Систематизовано вимоги чинного законодавства щодо вишукувань та передовий досвід їх проведення. Запропоновано теоретико-множинну модель інформаційних потоків процесу інженерно-геодезичних вишукувань, залучення до якої підходів структурного моделювання дає змогу поєднати дистанційні дані з різних джерел, урахувати динаміку їх зміни і логіку взаємодії. Розроблено IDEF0-модель, яка розглядає дані дистанційного зондування як джерело точної й актуальної інформації, а діаграма потоків даних алгоритмізує механізм їх поєднання задля отримання необхідних топографо-геодезичних матеріалів. Розроблене науково-методичне забезпечення інформаційної підтримки проєктування доріг створює структуру інформаційної технології інженерно-геодезичних вишукувань. Її дослідне використання підтвердило зменшення часу на проведення геодезичних робіт, при одночасному підвищенні точності отриманих геометричних і геодезичних параметрів, необхідних для формування об'єктивних висновків при формуванні кошторису проєкту доріг, визначені обсягів робіт та ін. **Висновки.** Результати бібліографічного пошуку підтвердили, що ефективність процедури топографо-геодезичних вишукувань при проєктуванні доріг ускладнена великим розміром географічних територій, які слід обстежити, складними інженерно-геологічними умовами або наявністю обмежень на строки проведення робіт і фінансові ресурси. Це приводить до необхідності впровадження у практику проєктно-вишукувальних організацій нових підходів, заснованих на високопродуктивних методах збору інформації про місцевість. Розроблене науково-методичного забезпечення інформаційної підтримки проєктування доріг, зокрема, структура інформаційної технології інженерно-геодезичних вишукувань. Її дослідне використання підтвердило зменшення часових витрат, необхідних для виконання вишукувань, і підвищення точності отриманих геометричних і геодезичних параметрів місцевості, де планується реалізація проєкту доріг.

**Ключові слова:** модель інформаційних потоків процесу; структурний аналіз; IDEF0-модель; діаграма потоків даних; інформаційна технологія.

### Вступ

Організація Об'єднаних Націй наголошує, що створення стійкої дорожньої інфраструктури є однією з основних дій на шляху до сталого розвитку суспільства в цілому [1]. Технічний стан дорожньої мережі, її рівень розвитку значно впливають на економічне та соціальне становище усієї країни й її окремих регіонів, а надійні транспортні зв'язки сприяють підвищенню продуктивності праці, ефективності використання основних виробничих фондів, трудових і матеріально-технічних ресурсів. Дорожня інфраструктура стає фундаментом глобального со-

ціально-економічного прогресу, а її розвиток – будівництво нових доріг, реконструкція та модернізація дорожньо-транспортних комплексів, що експлуатуються, є одним із пріоритетних напрямів державної політики країн світу. Адже, дорожня інфраструктура – важливіша ланка загальної транспортної системи країни, без якої не може функціонувати жодна галузь народного господарства [2, 3].

Державну політику в сфері дорожнього господарства та управління дорогами України реалізує Державне агентство автомобільних доріг [3, 4]. При забезпеченні виконання завдань і пріоритетних напрямків діяльності зусилля агентства спрямовано на

досягнення ряду цілей, зокрема [4]: забезпечення розвитку мережі доріг, підвищення безпеки руху, швидкості та економічності перевезень, поліпшення транспортно-експлуатаційного стану доріг і дорожньої інфраструктури, покращення транспортної доступності сільських територій. Усе це є можливим лише за впровадженням системного підходу, починаючи з етапу створення проєкту та закінчуючи експлуатацією та утриманням доріг [2, 4, 5].

Одним з найперспективніших і найпотужніших інструментів проєктування доріг вважають методи, засновані на використанні нових методів геодезичних вишукувань і сучасних технологій, що базуються на високопродуктивних методах збору інформації про місцевість. У зв'язку з цим методи дистанційного зондування надають нові можливості, пов'язані з аналізом дорожнього забезпечення районів, формуванням проєктів доріг, контролю їх розвитку, функціонування, оцінюванням ефективності, створенням цифрових моделей для побудови планів перспективного розвитку дорожньої інфраструктури для всіх видів транспорту, їх перевіркою на відповідність вимогам законодавства, дотримання будівельних норм тощо [5 - 7].

### Аналіз публікацій і постановка мети дослідження

Процес проєктування доріг регламентує низка Державних будівельних норм (наприклад, [8]), де зазначено, що вихідними даними проєкту є матеріали комплексних інженерних вишукувань району прокладання (реконструкції) дороги. Ці матеріали є результатом комплексного оцінювання природних і техногенних умов й обґрунтування можливості проєктування; отримані з дотриманням принципів достовірності та повноти даних, послідовності та стандартності процедур, узагальнення даних з додержанням єдиних засад і технологій їх оброблення [3, 9]. Методи та технічні засоби для виконання вишуквальних робіт залежать від цілей вишукувань і складності умов виконання робіт і, зазвичай, відповідають принципу «прийди та подивися» з використанням традиційних геодезичних приладів (рівень, рулетка, нівелір, тощо) [9, 10]. Точність і достовірність цих методів підтверджують роки успішного використання, однак вони трудомісткі, забирають багато часу, а виміри, отримані під час цих вишукувань, є точковими, отриманими у заздалегідь обраних місцях [10]. У деяких випадках дотримання принципу повноти даних обмежено неможливістю проведення комплексних інженерних вишукувань на реальній місцевості через їх високу вартість, що у подальшому зніжує точність розрахунків параметрів доріг, оцінок бюджету проєкту, його термінів тощо (E. Robson та ін. [11] і R. Vanick та ін. [12]).

Усе частіше, для підвищення ефективності й об'єктивності вишукувань використовують методи дистанційного зондування. Так, у дослідницькій роботі Z. Chen та ін. [6] зазначено, що отримання дорожньої інформації на основі 2D-спостережень за Землею та 3D-хмар точок має велике значення. Це дає можливість уже на початкових етапах планування та проєктування доріг, при громадському обговоренні проєктів оцінювати проєктні рішення, екологічні ризики, дизайн проєкту, тощо (D. Guo та ін. [13]), надає особливі переваги при проєктуванні доріг у складних інженерно-геологічних умовах, коли з погляду безпеки важливо ідентифікувати «дефекти геометрії» дороги, потенційно «сліпі зони» (H. Zhang та ін. [14] і A. Jacob та ін. [15]) тощо. Переваги від використання дистанційних даних з декількох джерел у практиці дорожніх служб підтверджуються в роботах [7, 10, 16], зокрема, при визначенні рівня деформації та пошкоджень доріг (R. Eker [10]), під час при моніторингу, обґрунтуванні проєктних рішень щодо реконструкції транспортної мережі (S. Danshyna та ін. [7]), при управлінні та адаптації будівельних робіт до реальної дорожньої інфраструктури (F. D'Amico та ін. [16]). При цьому незалежно від аспектів вишукувань, які розглядаються, результати бібліографічного пошуку підтверджують таке. Ефективне виконання вишуквальних робіт з дотриманням чинного законодавства вкрай ускладнено через великий розмір географічних територій, які необхідно обстежити [7, 10], особливо при проєктуванні крупних інфраструктурних об'єктів, через складність інженерно-геологічних умов [14, 15] або наявність обмежень на строки проведення робіт [13] і на фінансові ресурси [11, 12]. Тому, на основі аналізу незалежних даних для скорочення термінів проведення робіт з одночасним збільшенням точності результатів вишукувань необхідно у рамках діджиталізації процесу впроваджувати нові підходи та методи, що поєднують польові дослідження місцевості з даними дистанційного зондування. Таким чином, *метою статті* є підвищення ефективності процесу інженерно-геодезичних вишукувань при проєктуванні доріг шляхом імплементації до нього дистанційних даних з різних джерел, їх систематизації та алгоритмізації використання.

### Модель інформаційних потоків процесу інженерно-геодезичних вишукувань

Під час будівництва, реконструкції, переоснащення об'єктів будівництва будь-якого призначення для отримання топографо-геодезичних матеріалів

чинним законодавством передбачено проведення інженерних вишукувань, які виконують у три етапи – підготовчий, польовий і камеральний – та здійснюють за впровадженням прогресивних технологій і методів організації [9, 17]. Серед таких прогресивних технологій і методів Закон України від 26.01.1999 р. № 353-XIV [17] називає дистанційне зондування Землі повітряними та наземними засобами. Стрімкий розвиток технологій цього напрямку та їх широке поширення серед безпосередніх виконавців інженерних вишукувань пов'язують зі значної фінансовою вигодою, наприклад, щорічний прибуток від використання лазерного сканування в США складає 13 млрд. доларів, при цьому потенційний прибуток від впровадження тільки в інфраструктуру і будівництво оцінюють у 942 млн. доларів на рік [10, 18, 19]. Але в чинних Державних будівельних нормах (наприклад, ДБН А.2.1-1-2008 [9]) використання дистанційного зондування не регламентовано.

Акцентуючись лише на дистанційних даних для визначення їх місця в послідовності вишукувальних операцій, алгоритмізації та формалізації роботи з ними, додамо їх до інформаційного процесу інженерно-геодезичних вишукувань. У цьому випадку концептуально подамо процес як теоретико-множинну модель його інформаційних потоків [7, 20]:

$$I\_Pr = (V, Z, \varphi, A, O, \psi), \quad (1)$$

де  $V$  – множина вхідних даних процесу, потужність якої за прийнятих припущень зумовлена набором даних, отриманих з різних джерел дистанційного зондування;

$Z$  – множина документів, які обмежують процес;

$O$  – множина вихідних даних процесу.

Для дотримання вимог легкості та наочності сприйняття подамо символічну модель (1) у вигляді контекстної діаграми з використанням методології

IDEFO [21], ICOM-коди якої визначають елементи вищезазначених множин (рис. 1).

Отже, множина  $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$  складається з  $v_1$  – супутникових знімків;  $v_2$  – даних аерофотозйомки;  $v_3$  – даних GNSS-зйомки (Global Navigation Satellite System);  $v_4$  – даних лазерного сканування.

За прийнятих припущень множина  $Z = \{z_1, z_2, z_3\}$  поєднує  $z_1$  – технічне завдання на проведення вишукувань,  $z_2$  – фондові матеріали,  $z_3$  – матеріали про геологічний стан місцевості.

Множина  $O = \{o_1, o_2, o_3, o_4\}$  об'єднує  $o_1$  – ортофотоплани;  $o_2$  – програму інженерно-геодезичних вишукувань;  $o_3$  – планово-висотну основу місцевості;  $o_4$  – цифрові дані для топографо-геодезичних матеріалів.

Також у моделі (1) множина  $A = \{a_1, a_2, a_3\}$  – це множина операцій підготовчого та польового етапів процесу, де можливо застосовувати (застосовують) дистанційні дані, яка складається з  $a_1$  – планування інженерно-геодезичних робіт;  $a_2$  – створення геодезичної розмічувальної мережі;  $a_3$  – попередньої обробки даних. Операції камерального етапу, де здійснюють остаточне оброблення даних польових вимірювань, у множину  $A$  не входять. Їх перелік, послідовність та особливості залежить від програмного забезпечення (AutoCAD, GIP, Leica LISCAD, тощо), яке використовують вишукувальні організації на цьому етапі [3]. Саме тому їх винесено за межі даного дослідження.

Через  $\varphi$  позначено функцію оновлення – відображення вигляду [7]:

$$\varphi: V \times Z \rightarrow V, \quad (2)$$

реалізація якої пов'язана з уточненням вхідних даних залежно від вимог документів множини  $Z$ .

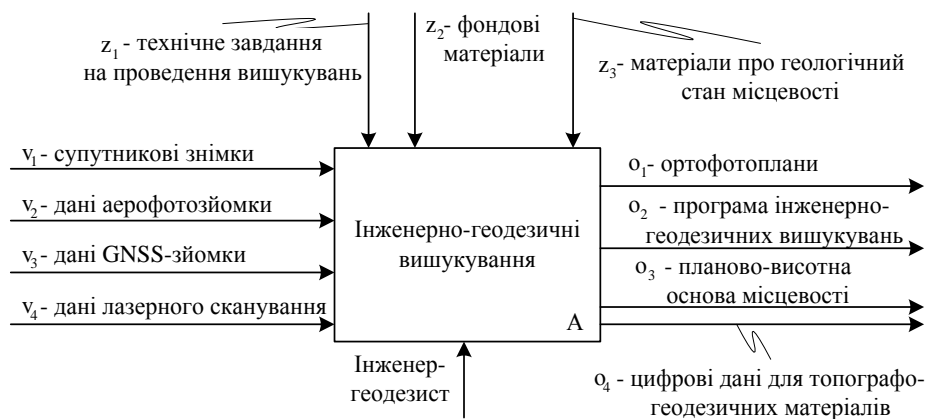


Рис. 1. Контекстна діаграма процесу інженерно-геодезичних вишукувань

Отже в момент часу  $t$  вхід процесу  $V(t)$  залежить від виходу в попередній момент часу  $V(t-1)$  і множини обмежувальних документів  $Z(t)$ .

Функція виходів  $\psi$  – функція, яка однозначно визначає правила формування вихідних даних. Це відображення:

$$\psi: A \times V \rightarrow O, \quad (3)$$

тобто вихід процесу  $O(t)$  визначають множини вхідних даних  $V(t)$  і операцій  $A(t)$ , які виконують у даний момент часу.

Залежно від складності інформаційного процесу функцію виходів  $\psi$  подають у табличному, графовому або графічному вигляді [7, 20]. Для процесу інженерно-геодезичних вишукувань подамо функцію  $\psi$  у вигляді графу (рис. 2) відповідно до правил, сформованих у роботі [7].

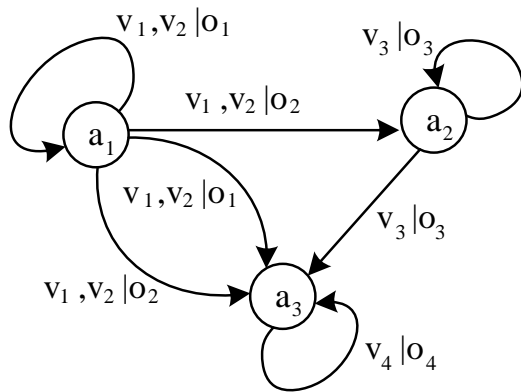


Рис. 2. Графове подання функції (3)

У графі (див. рис. 2) вершини відповідають операціям множини  $A = \{a_i\}, i = 1, \dots, 3$ , ребра – можливим переходам від однієї операції до іншої. Кожне ребро графа має вагу – вказівку на елемент множини  $V = \{v_j\}, j = 1, \dots, 4$ , за яким відбувається перехід від виконання однієї операції  $a_i$  до іншої, та на елемент множини  $O = \{o_k\}, k = 1, \dots, 4$  як результату  $a_i$ , необхідного для виконання наступних операцій процесу. Наприклад, у певний момент часу  $t$  надходження на вхід операції  $a_2$  елементу  $v_3$  дає змогу сформувати вихідний елемент  $o_3$ . Але при цьому необхідним є вихід  $o_2$ , який отримують при виконанні операції  $a_1$  шляхом узагальнення вхідних даних  $v_1$  і  $v_2$ .

Таким чином, під час здійснення процесу інженерно-геодезичних вишукувань дискретно за часом

змінюються значення входів і виходів залежно від попередніх даних на вході, вимог обмежувальних документів і прийнятого набору операцій процесу [20]:

$$\begin{cases} V(t) = \varphi(V(t-1), Z(t)); \\ O(t) = \psi(V(t), A(t)). \end{cases} \quad (4)$$

Для забезпечення простоти, наочності та легкості сприйняття динамічної природи інформаційних потоків, пояснюючи систему (4), використаємо методологію Data Flow Diagramming (DFD) – візуальну систему моделювання, яка дає змогу елементи вихідних даних подати як результат виконання операції (функції) оброблення зовнішніх і внутрішніх потоків даних [21 - 23] процесу  $I\_Pr$  (рис. 3).

Впровадження елементів методології DFD до моделі (1) зумовлено такими причинами [21, 23]:

- як IDEF0 DFD є частиною структурного аналізу, має певну семантику для описання інформаційних процесів, що полегшує їх повне розуміння розробниками та кінцевими користувачами;

- відповідно до нотацій моделювання DFD подає інформаційний процес у вигляді ієрархії діаграм потоків даних, розкриває трансформацію вхідної інформації, починаючи з її знаходження до процесу та закінчуючи виводом користувачу;

- DFD дає змогу врахувати логіку взаємодії операцій, подати їх послідовність у вигляді сценарію, якій реалізується за кінцевий час, що погоджується з системою (4);

- поєднання у DFD формальних методів і методів візуалізації надає інструмент для створення набору графічних моделей, які розкривають механізм реалізації моделі (1).

Усе це, з одного боку, дає змогу врахувати динамічний характер процесу  $I\_Pr$  згідно з (4), з іншого боку, – розкриває механізм реалізації моделі (1) у вигляді інформаційної технології інженерно-геодезичних вишукувань при проектуванні доріг.

Розроблена діаграма потоків даних (DFD – Data Flow Diagram) вказує дані та джерела їх надходження, послідовність їх оброблення та перетворення [22] і визначає структуру запропонованої інформаційної технології (рис. 3). Основну послідовність дій діаграми сформовано шляхом систематизації вимог чинного законодавства, регламентуючих процес геодезичних вишукувань [9, 17], і досвіду практичного використання дистанційних даних.

Додатково на діаграмі введено позначення елементів множин  $V, Z, A$  і  $O$  моделі  $I\_Pr$  для пояснення їх взаємодії в процесі інженерно-геодезичних вишукувань.

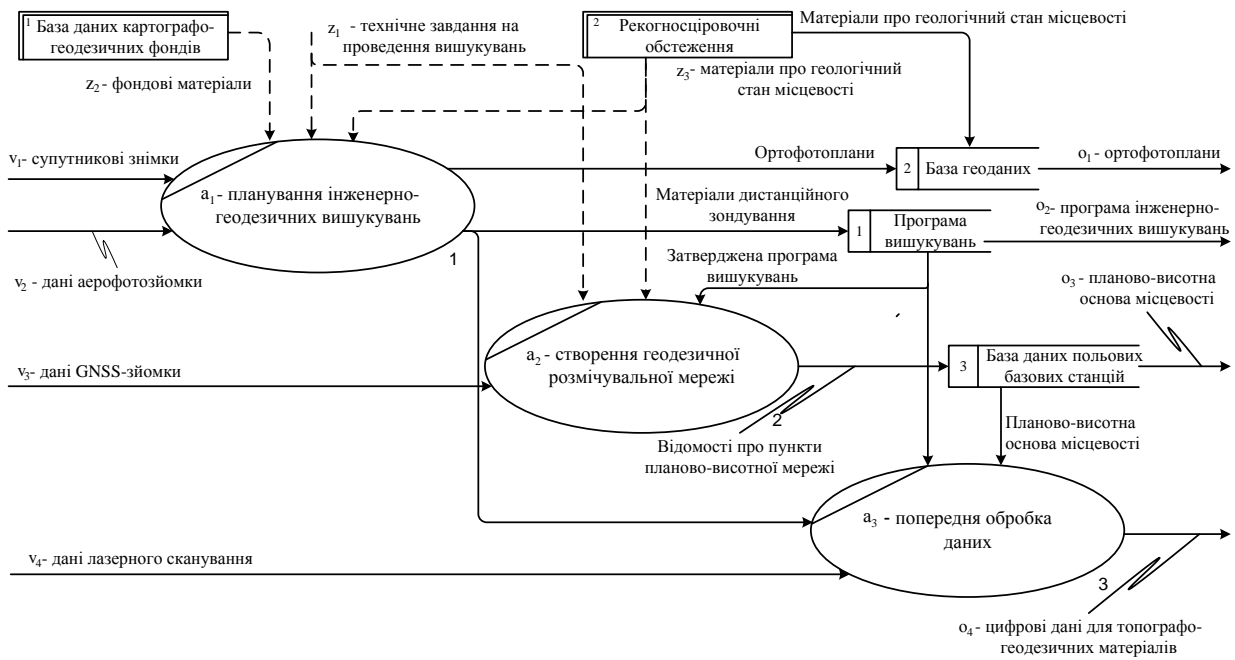


Рис. 3. Data Flow Diagram у нотатції Йордана (Yourdon) Де Марко для моделі процесу I\_Pr як структура інформаційної технології інженерно-геодезичних вишукувань

### Використання дистанційних даних при геодезичних вишукуваннях доріг

Пояснимо використання дистанційних даних в контексті застосування запропонованої моделі процесу I\_Pr (1) при формуванні вихідних інформаційних потоків, які позначено відповідно до типових топографічних і геодезичних термінів.

Перший вихідний потік у моделі (вихід  $o_1$ ) – ортофотоплани – фотографічні плани місцевості, точно прив'язані до геодезичної основи (рис. 4) [17].

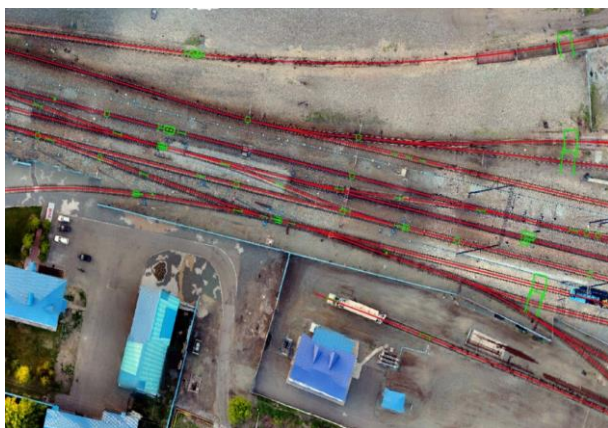


Рис. 4. Фрагмент ортофотоплану об'єктів залізниці, отриманий поєднанням результатів аерофотозйомки з даними супутникових знімків

Відповідно до ст. 19 закону України № 353-IV ортофотоплани, отримані як результат операції

$a_1$ , передають до бази геоданих Державного картографо-геодезичного фонду України [17]. Маючи узагальнюючі властивості,  $o_1$  стають підґрунтям для планування інженерно-геодезичних робіт, а також для моніторингу ситуації на прилеглих до доріг об'єктах, а аналіз архівів бази геоданих дає змогу виявити тенденції росту дорожньої інфраструктури, контролювати прилеглі зони тощо [6, 7].

Вхідні дані  $v_1$  і  $v_2$  найбільш повно використовують у програмі інженерно-геодезичних вишукувань (вихід  $o_2$ ), яку розробляють відповідно до вимог технічного завдання ( $z_1$ ), результатів вивчення фондових матеріалів ( $z_2$ ) і детального польового рекогносцирування ( $z_3$ ) [9]. За таких умов  $o_2$  – це база даних, що в єдиному описі об'єднує текстову та графічну інформацію про місцевість, за допомогою якої оцінюють масштаби робіт, обґрунтовують їх види та обсяги, визначають ділянки, що потребують ретельних досліджень, підбирають технологію проведення вишукувань та ін. [3, 9].

Початковим кроком польового етапу вишукувань є створення планово-висотної основи (геооснови) місцевості згідно затвердженої програми вишукувань. Тут вихід  $o_3$  розглядають як результат виконання операції  $a_2$ , що подано у вигляді сукупності точок (пунктів), зв'язаних між собою і закріплених на основі існуючих координат і висот. У подальшому дані  $o_3$  поєднують з проектною документацією для забезпечення відповідної точності геометрії

ричних параметрів об'єкта будівництва та існування в єдиній системі координат і висот (рис. 5). Також координати пунктів планово-висотної мережі, отримані при GNSS-зйомці, використовують при лазерному скануванні. Виконання операції  $a_2$  регламентують Державні будівельні нормами ДБН В.1.3-2-2010, а застосування тут GNSS-приймачів суттєво спрощує та прискорює процес отримання результату [10].

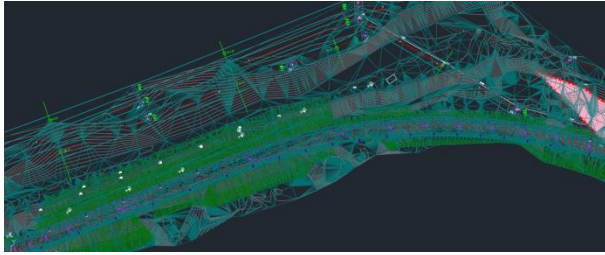
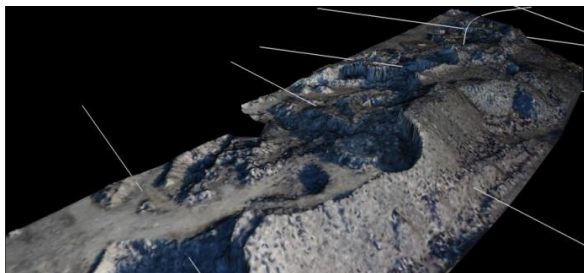
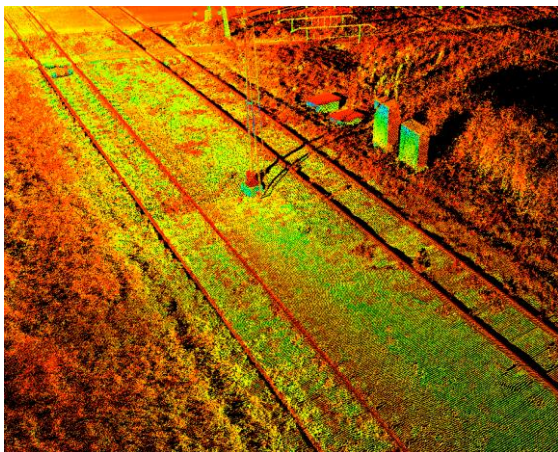


Рис. 5. Накладання сукупності точок планово-висотної основи та фактичної поверхні автодороги після GNSS-зйомки

Лазерне сканування на польовому етапі стає найважливішою технологією отримання геопросторових даних про форму рельєфу (рис 6, а), деформації, викривлення різних елементів дороги (рис. 6, б).



а



б

Рис. 6. Результати лазерного сканування доріг у вигляді хмари точок: а – отримані системою сканування, встановленою на БПЛА; б – отримані з мобільної скануючої системи

Вхідні дані  $v_4$  також надають змогу подавати результати польових досліджень у вигляді тривимірної моделі, яка наочно показує зовнішню геометрію об'єкта дослідження, суттєво спрощує виявлення відхилень або розбіжностей фактичних розмірів і положень будь-яких об'єктів від проектних [6, 10, 18].

Цифрові дані  $o_4$ , отримані в результаті операції  $a_3$ , стають підґрунтям багатьох топографо-геодезичних матеріалів. Наприклад, при складанні кошторисів, формують тривимірну модель об'єкту, яку порівнюють зі створеною на попередньому етапі геосиновою (вихід  $o_3$ ). Це дає змогу розрахувати об'єми виїмки та/або насипу ґрунту, необхідну кількість будівельних матеріалів тощо (рис. 7).

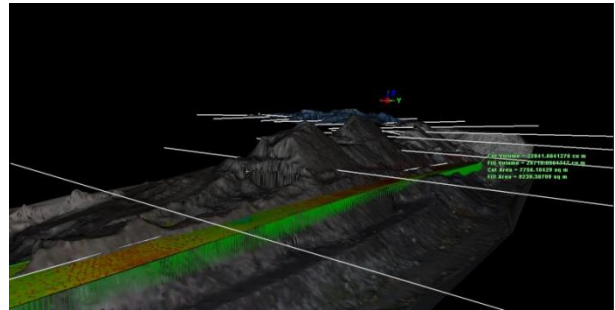


Рис. 7. Підрахунок об'єму виїмки та насипу в програмному забезпеченні Leica Cyclone

В умовах, коли будівництво доріг відбувається на ділянках зі складним рельєфом, дані  $o_4$  стають єдиним джерелом точної інформації, адже без них ці роботи спираються на узагальнені рекомендації з незначною точністю [11]. Також, дані  $o_4$  стають основою для формування поперечних і подовжніх профілів доріг для розрахунку обсягів робіт на будівельному майданчику, дають змогу обчислити площу сформованих укосів для подальшої укладки газону та ін.

Поєднання цих даних з матеріалами дистанційного зондування сприяє ефективному спілкуванню між зацікавленими сторонами, ілюструючи та пояснюючи, як виглядатиме проєкт дороги, допомагаючи громадськості краще зрозуміти її концепцію, дизайн, особливості, тощо (рис. 8) [13].

Зазначимо, що наведені приклади (рис. 4 - 7), – лише частина результатів, отримана під час впровадження за сприянням НВП «Навігаційно-геодезичний центр» (<https://ngc.com.ua/>) розробленого науково-методичного забезпечення інформаційної підтримки проєктів будівництва та реконструкції доріг. Вони дослідно підтверджують підвищення ефективності процесу інженерно-геодезичних вишукувань.



Рис. 8. Схема розташування сформованих укосів на супутниковому знімку Google Earth

## Висновки

Результати бібліографічного пошуку підтвердили, що ефективність процедури топографо-геодезичних вишукувань для забезпечення дотримання законодавства ускладнена низкою причин [10, 13, 15]. Це приводить до необхідності впровадження нових підходів у практику проектно-вишукувальних організацій, які базуються на передових методах збору інформації про місцевість.

Підтримуючі ідеї робіт [6, 7, 10] щодо ефективності поєднання даних 2D-спостережень за Землею та 3D-хмар точок, результати дослідження спрямовано на формування об'єктивних висновків про параметри місцевості, де планується реалізація проектів доріг. Використання при цьому теоретико-множинного і структурного моделювання інформаційних потоків процесу інженерно-геодезичних вишукувань дає змогу поєднати дистанційні дані з різних джерел, описати логіку їх взаємодії та урахувати динаміку їх зміни на різних операціях процесу.

На відміну від робіт [2, 5, 19], де данні, отримані при пасивному дистанційному зондуванні, вважають додатковим інструментом, що надає узагальнюючу інформацію про місцевість, розроблена модель розглядає їх як джерело точної й актуальної інформації, яка на підготовчому етапі процесу дає відповіді на ключові питання проекту щодо масштабів робіт, проблемних ділянок, вибору технології проведення вишукувань та ін.

Спираючись на дослідні дані роботи [18] і погоджуючись з висновками робіт [10, 16], запропоновано інформаційну технологію інженерно-геодезичних вишукувань, яка з урахуванням вимог законодавства України [8, 9, 17] розкриває кроки поєднання дистанційних даних з різних джерел, пояснює послідовність формування цифрових даних для топографо-геодезичних матеріалів, надає інформацію щодо обґрунтування фінансових, часових і ресурсних параметрів проектів доріг.

Розроблене науково-методичне забезпечення інформаційної підтримки проектів доріг створює структуру інформаційної технології інженерно-геодезичних вишукувань, дослідне використання якої підтвердило зменшення часових витрат, необхідних для виконання вишукувань, і підвищення точності отримання геометричних і геодезичних параметрів місцевості, де планується реалізація проекту. Результати дослідження можуть стати додатковим інструментом просування концепції цифровізації інформації про дорожню мережу, розглянутої в роботі [17], шляхом створення узгоджених наборів даних про транспортну інфраструктуру України.

Роботу виконано за підтримки Міністерства освіти і науки України (державний реєстраційний номер проекту 0122U002298), а також за підтримки Регіонального центру космічного моніторингу Землі «Слобожанщина».

**Внесок авторів:** Огляд та аналіз літератури – С. Ю. Даншина, С. М. Андрєєв; розробка концептуальних положень дослідження – С. Ю. Даншина; практична апробація результатів статті – С. М. Андрєєв; аналіз результатів дослідження С. Ю. Даншина, С. М. Андрєєв; адміністрування проекту – С. Ю. Даншина.

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

## Література

1. *Assessing block-level sustainable transport infrastructure development using a spatial trade-off relation model [Text]* / Y. Song, P. Wu, K. Hampson, Ch. Anumba // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2021. – Vol. 105. – Article no. 102585. DOI: 10.1016/j.jag.2021.102585.
2. Даншина, С. Ю. *Методи оцінювання стану транспортної інфраструктури в проектах розвитку регіону [Текст]* / С. Ю. Даншина // *Інтелектуальні інформаційні системи в управлінні проектами та економіці в умовах воєнного стану : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. [Коблево], 13-16 верес. 2022 р. / Харк. нац. ун-т радіоелектроніки*. – Х., 2022. – С. 64-67.
3. Собко, Ю. М. *Проектування автомобільних доріг [Текст]* / Ю. М. Собко, Ю. В. Сідун, Л. О. Карасьова. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2019. – 228 с.
4. *Звіт Державного агентства автомобільних доріг України [Електронний ресурс]*. – Режим доступу: <http://ukravtdor.gov.ua/4489/zvity/54474/54475.pdf>. – (дата звернення: 27.11.2022). – Назва з екрана.

5. Создание архитектуры «распределенного спутника» для низкоорбитальных информационно-телекоммуникационных систем на основе группировки микро- и наноспутников [Текст] / М. Е. Ильченко и др. // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2018. – №. 2 (146). – С. 33-43. DOI: 10.32620/akt.2018.2.05.
6. Road extraction in remote sensing data: A survey [Text] / Z. Chen et al. // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2022. – Vol. 112. – Article no. 102833. DOI: 10.1016/j.jag.2022.102833.
7. Danshyna, S. Yu. Information technology of transport infrastructure monitoring based on remote sensing data [Text] / S. Yu. Danshyna, A. S. Nechausov, S. M. Andrieiev // *Radio Electronics, Computer Science, Control*. – 2022. – No. 4. – P. 86-97. DOI: 10.15588/1607-3274-2022-4-7.
8. ДБН В.2.3-4-2015. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво [Текст]. – [На заміну ДБН В.2.3-4-2007 ; чинний від 2016-04-01]. – Вид. офіц. – Київ : Мінрегіон України, 2015. – 102 с.
9. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва [Текст]. – [На заміну СНуП 1.02.07-87 ; чинний від 2008-07-01]. – Вид. офіц. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. – 76 с.
10. Eker, R. Comparative use of PPK-integrated close-range terrestrial photogrammetry and a handheld mobile laser scanner in the measurement of forest road surface deformation [Text] / R. Eker // *Measurement*. – 2023. – Vol. 206. – Article no. 112322. DOI: 10.1016/j.measurement.2022.112322.
11. A methodology for road cutting design guidelines based on field observations [Text] / E. Robson, A. Agosti, S. Utili, D. Milledge // *Engineering Geology*. – 2022. – Vol. 307. – Article no. 106771. DOI: 10.1016/j.enggeo.2022.106771.
12. Banick, R. Evaluation of rural roads construction alternatives according to seasonal service accessibility improvement using a novel multi-modal cost-time model: A study in Nepal's remote and mountainous Karnali province [Text] / R. Banick, A. M. Heyns, S. Regmi // *Journal of Transport Geography*. – 2021. – Vol. 93. – Article no. 103057. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2021.103057.
13. Visualization of road geometries based on CADD design standards [Text] / D. Guo, X. Yan, J. Zalewski, C. Villiers // *Advances in Engineering Software*. – 2010. – Vol. 41, iss. 4. – P. 561-568. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2009.11.003.
14. Formulating a GIS-based geometric design quality assessment model for Mountain highways [Text] / H. Zhang, M. Zhang, Ch. Zhang, L. Hou // *Accident Analysis & Prevention*. – 2021. – Vol. 157. – Article no. 106172. DOI: 10.1016/j.aap.2021.106172.
15. Jacob, A. Geometric Design Consistency of Multiple Horizontal Curves on Two-lane Rural Highways [Text] / A. Jacob, R. Dhanya, M. V. L. R. Anjaneyulu // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. – 2013. – Vol. 104. – P. 1068-1077. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.11.202.
16. A possible implementation of non-destructive data surveys in the definition of BIM-models for the analysis of road assets [Text] / F. D'Amico et al. // *Transportation Research Procedia*. – 2023. – Vol. 69. – P. 187-194. DOI: 10.1016/j.trpro.2023.02.161.
17. Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність [Текст]: Закон України від 26 січня 1999 р., № 353-XIV // *Офіційний вісник України*. – 1999. – № 3. – Ст. 91. – С. 2.
18. Status Report for the 3D Elevation Program, 2013-2014 [Text] / V. Lukas, Diane F. Eldridge, Allyson L. Jason, David L. Saghy, Pamela R. Steigerwald, Jason M. Stoker, Larry J. Sugarbaker, and Diana R. Thunen // *Open-File Report 2015–1161*. – U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2015. – 17 p. DOI: 10.3133/ofr20151161.
19. Yadav, M. A multi-constraint combined method for road extraction from airborne laser scanning data [Text] / M. Yadav // *Measurement*. – 2021. – Vol. 186. – Article no. 110077. DOI: 10.1016/j.measurement.2021.110077.
20. Danshyna, S. Formalizing the land inventory process for information support of land projects management [Text] / S. Danshyna, V. Cheranovskiy // *Radioelectronic and computer systems*. – 2022. – № 3. – P. 7-19. DOI: 10.32620/reks.2022.3.01.
21. Кокотина, В. В. Нормоконтроль конструкторской документации в условиях реформирования системы технического регулирования [Текст] / В. В. Кокотина, С. М. Степаненко. // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2019. – №. 8 (160). – С. 158-162. DOI: 10.32620/akt.2019.8.23.
22. Analyzing data flow diagrams by combination of formal methods and visualization techniques [Text] / H. Zhang, W. Liu, H. Xiong, X. Dong // *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*. – 2023. – Vol. 35, iss. 2. – P. 626-640. DOI: 10.1016/j.jksuci.2023.01.006.
23. Cheema, S. M. A natural language interface for automatic generation of data flow diagram using web extraction techniques [Text] / S. M. Cheema, S. Tariq, I. M. Pires // *Journal of Visual Languages & Computing*. – 2018. – Vol. 48. – P. 41-51. DOI: 10.1016/j.jvlc.2018.08.001.

## References

1. Song, Y., Wu, P., Hampson, K., Anumba, Ch. Assessing block-level sustainable transport infrastructure development using a spatial trade-off relation model. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2021, vol. 105, article no. 102585. DOI: 10.1016/j.jag.2021.102585.



2. Danshyna, S. Yu. Metody otsiniuvannia stanu transportnoi infrastruktury v proiektakh rozvytku rehionu [Methods for assessing the state of transport infrastructure in regional development projects]. *Intel'ektualni informatsiini systemy v upravlinni proiektamy ta ekonomitsi v umovakh voiennoho stanu : materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* [Proc. Int. Conf. "Innovative integrated computer systems in strategic project management"], Kharkiv, 2022, pp. 64-67. (In Ukrainian).
3. Sobko, Yu. M., Sidun, Yu. V., Karasova, L. O. *Proektuvannia avtomobilnykh dorih* [Highways design]. Lviv, Vyd-vo Lvivskoi politekhniki Publ., 2019. 228 p. (In Ukrainian).
4. *Zvit Derzhavnoho ahentstva avtomobilnykh dorih Ukrainy* [Report of the State Automobile Roads Agency of Ukraine]. Available at: <http://ukravtodor.gov.ua/4489/zvity/54474/54475.pdf> (Accessed 27.11.2022).
5. Ilchenko, M., Narytnik, T., Rassamakin, B., Prisyazhny, V., Kapshtik, S. *Sozdaniye arkhitektury «raspredelennogo sputnika» dlya nizkoorbital'nykh informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem na osnove gruppirovki mikro- i nanosputnikov* [Creation of the architecture of "distributed satellite" for low-orbital information-telecommunication systems based on the grouping of micro and nano satellites]. *Aviacijno-kosmichna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2018, no. 2 (146), pp. 33 - 43. doi: 10.32620/aktt.2018.2.05 (In Russian).
6. Chen, Z., Deng, L., Luo, Yu., Li, D., Junior, J. M., Goncalves, W. N., Nurunnabi, A. A., Li, J., Wang, Ch. Road extraction in remote sensing data: A survey. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2022, vol. 112, article no. 102833. DOI: 10.1016/j.jag.2022.102833.
7. Danshyna, S. Yu., Nechausov, A. S., Andrieiev, S. M. Information technology of transport infrastructure monitoring based on remote sensing data. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2022, no. 4, pp. 86-97. DOI: 10.15588/1607-3274-2022-4-7.
8. *DBN V.2.3-4-2015. Avtomobil'ni dorohy. Chastyna I. Proektuvannya. Chastyna II. Budivnytstvo* [Building Code B.2.3-4-2015. Highways. Part I. Design. Part II. Building]. Kyiv, Ministry of the Region of Ukraine Publ., 2015. 102 p. (In Ukrainian).
9. *DBN A.2.1-1-2008. Vyshukuvannya. Inzhenerni vyshukuvannya dlya budivnytstva* [Building Code A.2.1-1-2008. Survey. Engineering survey is in building]. Kyiv, Ministry of Regional Construction of Ukraine Publ., 2008. 76 p. (In Ukrainian).
10. Eker, R. Comparative use of PPK-integrated close-range terrestrial photogrammetry and a handheld mobile laser scanner in the measurement of forest road surface deformation. *Measurement*, 2023, vol. 206, article no. 112322. DOI: 10.1016/j.measurement.2022.112322.
11. Robson, E., Agosti, A., Utili, S., Milledge, D. A methodology for road cutting design guidelines based on field observations. *Engineering Geology*, 2022, vol. 307, article no. 106771. DOI: 10.1016/j.enggeo.2022.106771.
12. Banick, R., Heyns, A. M., Regmi, S. Evaluation of rural roads construction alternatives according to seasonal service accessibility improvement using a novel multi-modal cost-time model: A study in Nepal's remote and mountainous Karnali province. *Journal of Transport Geography*, 2021, vol. 93, article no. 103057. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2021.103057.
13. Guo, D., Yan, X., Zalewski, J., Villiers, C. Visualization of road geometries based on CADD design standards. *Advances in Engineering Software*, 2010, vol. 41, iss. 4, pp. 561-568. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2009.11.003.
14. Zhang, H., Zhang, M., Zhang, Ch., Hou, L. Formulating a GIS-based geometric design quality assessment model for Mountain highways. *Accident Analysis & Prevention*, 2021, vol. 157, article no. 106172. DOI: 10.1016/j.aap.2021.106172.
15. Jacob, A., Dhanya, R., Anjaneyulu, M. V. L. Geometric Design Consistency of Multiple Horizontal Curves on Two-lane Rural Highways. *Social and Behavioral Sciences Procedia*, 2013, vol. 104, pp. 1068-1077. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.11.202.
16. D'Amico, F., Bertolini, L., Napolitano, A., Bianchini-Ciampoli, L., Manalo, J. R. D., Gagliardi, V., Calvi, A. A possible implementation of non-destructive data surveys in the definition of BIM-models for the analysis of road assets. *Transportation Research Procedia*, 2023, vol. 69, pp. 187-194. DOI: 10.1016/j.trpro.2023.02.161.
17. *Pro topografoheodezychnu ta kartografichnu diyal'nist'. Zakon Ukrayiny vid 26 sichnya 1999 r., No. 353-XIV* [On Topographic, Geodesic and Cartographic Activity : Law of Ukraine of 26 January 1999, no. 353-XIV]. *Ofitsiyni visnyk Ukrainy*, 1999, no. 3, Art. 91, pp. 2. (In Ukrainian).
18. Lukas, V., Eldridge, D. F., Jason, A. L., Saghy, D. L., Steigerwald, P. R., Stoker, J. M., Sugarbaker, L. J., and Thunen, D. R. *Status Report for the 3D Elevation Program, 2013-2014. Open-File Report 2015-1161*. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2015. 17 p. DOI: 10.3133/ofr20151161.
19. Yadav, M. A multi-constraint combined method for road extraction from airborne laser scanning data. *Measurement*, 2021, vol. 186, article no. 110077. DOI: 10.1016/j.measurement.2021.110077.
20. Danshyna, S., Cheranovskiy, V. Formalizing the land inventory process for information support of land projects management. *Radioelektronni i komputerni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, 2022, no. 3, pp. 7-19. DOI: 10.32620/reks.2022.3.01.
21. Kokotina, V. V., Stepanenko S. M. *Normokontrol' konstruktorskoy dokumentatsii v*

usloviyakh reformirovaniya sistemy tekhnicheskogo regulirovaniya [Design documentation review in the conditions of technical regulation system reforming]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2019, no. 8 (160), pp. 158-162. DOI: 10.32620/akt.2019.8.23 (In Russian).

22. Zhang, H., Liu, W., Xiong, H., Dong, X. Analyzing data flow diagrams by combination of formal methods and visualization techniques. *Journal of King*

*Saud University – Computer and Information Sciences*, 2023, vol. 35, iss. 2, pp. 626-640. DOI: 10.1016/j.jksuci.2023.01.006.

23. Cheema, S. M., Tariq, S., Pires, I. M. A natural language interface for automatic generation of data flow diagram using web extraction techniques. *Journal of Visual Languages & Computing*, 2018, vol. 48, pp. 41-51. DOI: 10.1016/j.jvlc.2018.08.001.

Надійшла до редакції 23.02.2023, розглянута на редколегії 17.04.2023

## REMOTE SENSING AS EFFECTIVE ROAD PROJECT TOOL

*Svitlana Danshyna, Sergey Andrieiev*

**The subject** of this study is the process of engineering and geodetic surveys for developing road projects. **The purpose** of this article is to improve the efficiency of the process of engineering and geodetic research in road design by implementing remote data from various sources and their systematization and algorithmization of use. **The task** is to analyze the preparatory and field stages of the process to determine possible ways of increasing its efficiency. Focusing on information flows, to develop an information model of the process of engineering and geodetic surveys and the corresponding scientific and methodological support for road design to introduce advanced technologies for collecting data about the terrain, which reduce the time of surveys and increase the accuracy of the results obtained. For this, the following **methods** are used: system and structural analysis, set theory, and DFD modeling. Scientific **results** have been obtained. The requirements of the current legislation regarding searches and the best experience of their conduct have been systematized. A set-theoretic model of information flows of the process of engineering and geodetic surveys is proposed, with the involvement of structural modeling approaches that make it possible to combine remote data from different sources and consider the dynamics of their changes and the logic of interaction. The IDEF0 model, which considers remote sensing data as a source of accurate and up-to-date information, has been developed, and the data flow diagram algorithmizes the mechanism of their combination to obtain the necessary topographical and geodetic materials. The developed scientific and methodical support for information support of road design creates a structure of information technology for engineering and geodetic surveys. Its experimental use has confirmed the reduction of the time for performing geodetic works while simultaneously increasing the accuracy of the obtained geometric and geodetic parameters, which are necessary for the formation of objective conclusions when forming the estimate of the road project, determining the scope of works, etc. **Conclusions.** The results of the bibliographic search confirmed that the effectiveness of the topographic-geodetic survey procedure in road design is complicated by the large size of the geographical areas to be surveyed, complex engineering and geological conditions, or the presence of restrictions on the duration of work and financial resources. This leads to the need to practically implement into the project-research organizations new approaches based on highly productive methods of collecting information about the area. The scientific and methodological provision of information support for road design has been developed, in particular, the structure of the information technology of engineering and geodetic surveys. Its experimental use has confirmed the reduction of the time required to perform searches and the improvement of the accuracy of the obtained geometric and geodetic parameters of the area where the implementation of the road project is planned.

**Keywords:** model of information flows of the process; structural analysis; IDEF0-model; data flow diagram; information technology.

**Даншина Світлана Юрївна** – д-р техн. наук, проф. каф. геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Андрєєв Сергій Михайлович** – канд. техн. наук, доц. каф. геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Svitlana Danshyna** – Doctor of Technical Science, Professor of Dept. of Geo-information Technologies and Space Monitoring of the Earth, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: s.danshyna@khai.edu, ORCID: 0000-0001-7354-4146.

**Sergey Andrieiev** – Ph.D. in Technical Science, Associate Professor of Dept. of Geo-information Technologies and Space Monitoring of the Earth, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: s.andreev@khai.edu, ORCID: 0000-0003-4256-2637.